

**INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION-CAPITULO
IBEROAMERICANO
V CONGRESO IBEROAMERICANOS DE EROSION Y CONTROL DE
SEDIMENTOS, V CICES
PANAMA, OCTUBRE 2010**

**RECUPERACIÓN DE LAS MÁRGENES DEL RÍO SÃO FRANCISCO EN
BRASIL UTILIZANDO GEOMANTAS DE POLIPROPILENO**

Ing. Victor Gustavo Chiari

Maccaferri do Brasil Ltda.-Brasil

victor@maccaferri.com.br

Ing. Gerardo Fracassi

Maccaferri do Brasil Ltda.-Brasil

fracassi@maccaferri.com.br

Ing. Bernal Monge

Maccaferri de Centro América.-Costa Rica

bmonge@maccaferri.co.cr

RESUMEN:

Uno de los principales problemas enfrentados por la población brasileña de escasos recursos son las difíciles condiciones de vida, producto de la grave desigualdad social existente. El río San Francisco posee una gran importancia cultural y económica, y es la principal vía de transporte de las actividades agrícolas para la población que vive en sus cercanías. Estudios recientes comprueban que en muchos de sus trechos, el río ha sido degradado con el tiempo debido a los desplazamientos laterales ocurridos por las constantes erosiones en los márgenes, tornando su cauce más ancho y raso día a día, reduciendo la navegabilidad y, consecuentemente, las actividades comerciales. La propuesta de “Revitalización de río San Francisco” tiene como objetivo la búsqueda de sistemas de protección de márgenes eficaces, y de bajo costo, principalmente, donde puedan ser utilizados tecnologías y recursos disponibles localmente. Este trabajo presenta la principal solución aplicada en este río, las geomantas de polipropileno, que promueven la protección contra la erosión de los márgenes. Con la estabilización de la superficie revestida y las partículas de suelo confinadas, se promueve el crecimiento de la vegetación, de esta forma las raíces de la misma se anclan el material geosintético colocado sobre los taludes y la malla hexagonal aumenta la resistencia del suelo contra pequeños desplazamientos.

INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica del río São Francisco, cariñosamente conocido como “El Viejo Chico”, es una de las más importantes de Brasil, ya sea por su importancia hídrica como por el desarrollo generado en las regiones por las cuales cruza este río. Posee un área de aproximadamente 640 mil km² y ocupa el 7,40% del territorio brasileño (Figura 1). Nace en la Sierra de la Canastra en el Estado de Minas Gerais, región Sudeste del Brasil; en su extensión de 2830 km atraviesa el Estado de Bahia, es la frontera norte para el Estado de Pernambuco y divide los Estados de Sergipe y Alagoas, desembocando en el Océano Atlántico en la región Nordeste del país. Es en esta región que se localiza el “Polígono de la Seca”, conocido de esta manera, por comprender áreas frecuentemente afectadas por largas sequías y concentrarse las mayores tasas de poblaciones marginales para el país, excluidas socialmente.



Figura 1. Localización de la cuenca del río São Francisco en relación al territorio brasileño.

El río São Francisco es la arteria de unión socio-económica de la región Sudeste con la región Nordeste del Brasil, siendo el mayor responsable por la prosperidad de sus regiones ribereñas, actualmente las mayores productoras de frutas tropicales del país. Adicionalmente, el transporte de las mercaderías es efectuado por vía fluvial y abastece una población de aproximadamente seis millones de habitantes que vive en esta región.

Este trabajo tiene como objetivo principal presentar el Plan de Revitalización del río São Francisco cuyas acciones ya iniciaron en el municipio de Barra, al interior del Estado de Bahia, región Nordeste del Brasil, buscando alternativas viables y económicas, que permitan reducir la erosión de las márgenes degradadas por la acción de la corriente, el efecto de las olas del río y por causa de las lluvias y lograr estabilizar el cauce fluvial.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A pesar de la gran importancia y lo que representa el río São Francisco para Brasil, lamentablemente estudios recientes muestran que este ha sufrido un proceso de degradación a lo largo del tiempo. Examinando detalladamente el cauce del río, se perciben cambios del orden de centenas de metros (entre 10 y 15 metros anuales), transformándolo en un cauce más ancho y raso cada día. Esta degradación progresiva se debe a la erosión de las orillas y al consecuente y elevado transporte de sólidos que forman bancos de arena en el centro del río. Este proceso se auto-alimenta continuamente, lo que provoca sensibles perjuicios para la sustentabilidad de varias actividades productivas, además de la sensible reducción de la navegabilidad local.

Una de las causas principales del fenómeno es la ocupación desordenada de las orillas del río São Francisco por parte de la población que vive en la región, lo cual provoca la reducción de la vegetación de las orillas y retira la protección adicional de la superficie del suelo.

Según Pereira (1999), se entiende por erosión el proceso por el cual ocurre el desprendimiento, el transporte y la deposición de partículas de suelo o sedimentos, que acaban causando grandes impactos ambientales, afectando los cursos de agua y taludes, provocando su sedimentación.

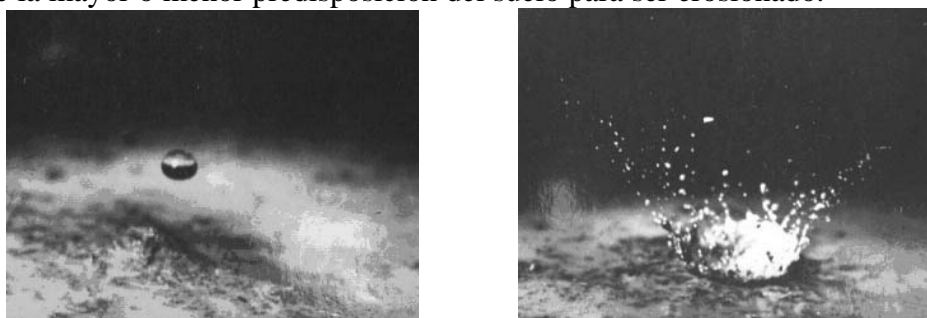
La adopción de medidas efectivas de control preventivo y correctivo de estas erosiones desordenadas, depende del entendimiento correcto de los procesos relacionados con la dinámica del funcionamiento hídrico sobre el terreno. Debido a que las orillas del río São Francisco están desprovistas de protección, estos procesos erosivos son causados de forma natural, sea por la acción de la agua de las lluvias, la corriente o por el efecto de las olas.

Proceso erosivo causado por el agua de las lluvias

Este tipo de proceso erosivo tiene presencia global, en especial en las áreas de clima tropical como es el caso del Brasil, país donde los índices pluviométricos son mucho más elevados que el promedio de las otras regiones del planeta. La ocupación desordenada de las orillas del río São Francisco provocó la deforestación de las márgenes, desprotegiéndolas al eliminar la cobertura vegetal, causando que el agua de las lluvias incidiera directamente sobre la superficie del terreno.

El efecto “*splash*”

La acción del “*splash*” (Figuras 2 y 3) o salpicadura (Guerra y Guerra, 1997) es la fase inicial del proceso erosivo causado por el agua de las lluvias, ya que propicia el desprendimiento de las partículas del suelo, que generalmente es provocada por la ruptura de los agregados, y su sucesivo transporte por el flujo superficial. La erosión depende de las relaciones existentes entre la capacidad erosiva de las lluvias, por medio de su energía cinética, y los flujos superficiales y sub-superficiales, así como de la mayor o menor predisposición del suelo para ser erosionado.



Figuras 2 y 3. Detalle de la gota de la lluvia sobre la superficie, causando el efecto “*splash*”.

Energía cinética de la lluvia

La energía cinética de la lluvia determina la erosionabilidad del terreno, que es la capacidad de la lluvia en causar erosión. La determinación del potencial erosivo de un suelo depende principalmente de sus parámetros de erosionabilidad y también de las características de la lluvia, que varían en el tiempo y el espacio, entre ellas el total de precipitación, la intensidad de la lluvia, el momento y la propia energía cinética de la lluvia. Otro factor que puede influir sobre la erosionabilidad es la acción eólica, principalmente si la lluvia es acompañada por vientos violentos.

Ruptura de los agregados

La ruptura de los agregados puede ser considerada la etapa inicial del proceso erosivo de los suelos. Esta ruptura inicia con el impacto directo de las gotas de lluvia con el terreno, logrando que estos se rompan y formen partículas muy pequeñas, rellenando los poros existentes en el terreno. Con esto, la porosidad del suelo es reducida y el flujo superficial aumenta. En el caso del suelo que constituye las orillas del río São Francisco, se verificó a través de sondeos realizados en el mes de septiembre

del año de 2005, la presencia de un suelo limo-arenoso, característico de la región semi-árida del Brasil, lo cual favorece aún más la erosionabilidad. Según Wischmeier & Mannering (1969), los suelos que poseen estas características, que son usados para la agricultura y sin cuidados en su manejo, pasan a ser más erosionables a medida que pierden materia orgánica, factor, que facilita directamente la ruptura de los agregados. Esto se debe a que la materia orgánica incorporada en el suelo aumenta la cohesión entre sus partículas, volviendo el suelo más estable, con mayor poder de retención del agua y más poroso, disminuyendo la posibilidad de erosiones, además de garantizar la nutrición indispensable para crecimiento de la vegetación.

Formación de costras y selladura de los suelos

A partir de la ruptura de los agregados causados por el impacto de las gotas de la lluvia, ocurre la formación de costras en la superficie del suelo, lo cual ocurre casi que de forma instantánea, provocando así, como ya se ha comentado, el sellado del suelo, dificultando la infiltración de la agua y, como consecuencia, aumentando el escurrimiento superficial y la posible pérdida de suelo. Según Thornes (1980), la infiltración ocurre con más rapidez en los agregados de granulometría mayor y más estables, disminuyendo así la acción del flujo superficial. A medida que los agregados son fracturados y la superficie del suelo es sellada, estas costras ofrecen menor resistencia a la acción del “splash”, por otro lado la velocidad del flujo superficial aumenta, pudiendo causar daños significativos en el terreno. A partir del momento que los índices de infiltración se reducen, se verifica la formación de charcos en la superficie del suelo.

Infiltración y formación de charcos en la superficie del suelo

El agua de la lluvia, cuando entra en contacto directo con el suelo, es almacenada en pequeños surcos o directamente en el suelo. Durante una lluvia torrencial, los espacios vacíos entre las partículas son llenados por la agua reduciendo las tasas de infiltración, dando origen al suelo saturado que lleva a la pérdida de la cohesión aparente, produciendo un flujo excedente que, después de cierto tiempo, no consigue más ser absorbido. Todos estos factores dan origen a la última fase que precede el flujo superficial: la formación de charcos en la superficie del suelo.

Flujo superficial

Después la desagregación de las partículas, la saturación del suelo y la consecuente formación de charcos, empieza el flujo superficial. En el mismo el agua sigue una trayectoria en forma relativamente rápida y siendo capaz de transportar materiales del suelo por medio de su fuerza hidráulica. Dependiendo de la fuerza del flujo se producen dos tipos de erosión: laminar, cuando es causada por la intensidad de las gotas de la lluvia que resulta en la remoción progresiva del suelo presente en la superficie del terreno y linear en forma de canales, cuando es causada por las líneas de flujo de este escurrimiento. El mismo puede ser aún más rápido en caso de pendientes con alta declividad (arriba de 34°), desagregando las partículas de suelo presentes en el suelo y causando también las erosiones citadas.

La Figura 4 muestra todo el recorrido de la agua de la lluvia inmediatamente después de su impacto con la superficie, al iniciar el proceso de erosiones superficiales, que son causadas por la concentración del flujo superficial en un mismo punto. A partir de ahí, la sumatoria de los procesos erosivos provocados por la acumulación del flujo superficial y sub-superficial (capa freática) originan las erosiones de mayores dimensiones y profundas, que exigen soluciones más eficaces y costosas, volviendo muchas veces inviables las obras de intervención.

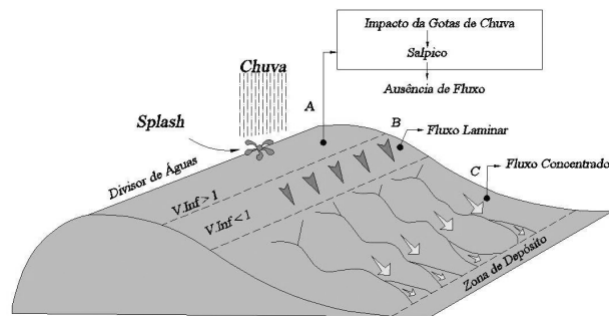


Figura 4. Mecanismo de la erosión causada por la acción de las lluvias.

Proceso erosivo causado por la corriente

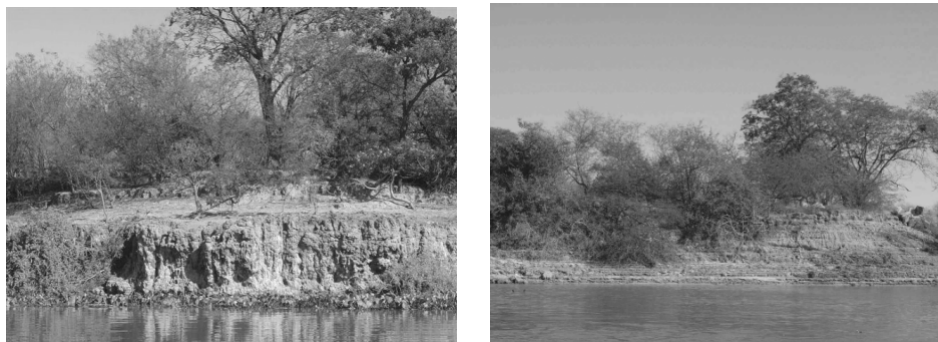
La velocidad del agua del río São Francisco no causa gran impacto en sus orillas, sin embargo, la corriente es un de los grandes responsables por la desaparición de la cobertura vegetal presente. Bajo esta condición de talud desprotegido, el flujo de la agua causa al colapso del suelo suelto-arenoso que conforma las orillas del río, el arrastre de las partículas sueltas y consecuentemente causa las erosiones.

Proceso erosivo causado por el efecto de las olas

Además de los procesos erosivos citados anteriormente, las orillas del río São Francisco están siempre sujetas a las sollicitaciones de las olas generadas por la acción eólica y por la navegación local. La altura de las olas depende de la velocidad y de la dimensión de la embarcación comparada con sección mojada del canal. Así como en el caso del proceso erosivo provocado por las gotas de lluvia, el impacto de las olas en las orillas del río provoca el movimiento del suelo en la forma de grandes bloques, promoviendo su desestabilización.

PLAN DE REVITALIZACIÓN DEL RÍO SÃO FRANCISCO

Los problemas del río São Francisco (Figuras 5 y 6) en sus orillas y cauce, fueron identificados después de realizadas diversas expediciones en las cuales fue verificada la necesidad de la intervención. Se notó también que el proceso erosivo no es generalizado a lo largo de todo el curso fluvial y es condicionado no solamente por las características geotécnicas y hidrológicas de cada trecho recorrido y estudiado sino también por la densidad demográfica.



Figuras 5 y 6. Erosión en los márgenes del río São Francisco.

El estudio realizado a través de estas expediciones inició en 1998, año en que el Gobierno del Estado de la Bahia firma el contrato con la CESP – Companhia Energética de São Paulo – con la finalidad de realizar intervenciones necesarias para la revitalización de las orillas del río São Francisco. La idea inicial fue realizar tales intervenciones de forma semejante a las utilizadas en los Ríos Paraná y Tietê, ambos localizados en el Estado de São Paulo, casos que tuvieron mucho éxito. En diciembre de 2001, fue firmado un convenio entre el Ministerio del Medio Ambiente, Agencia Nacional de las Aguas y el Gobierno del Estado de Bahia con el fin de elaborar el Plan de Revitalización del río São Francisco a través de un Campo de Pruebas. Para la realización de este trabajo fue contratada la empresa FUNDESPA – Fundação de Estudos y Pesquisas Aquáticas.

Este Campo de Pruebas (Figura 7), localizado entre las ciudades de Barra y Xique-Xique en el estado de Bahia, con extensión de 12 km, tiene como finalidad testar en escala real alternativas de contención de las orillas erosionadas y solapadas con el objetivo de estabilizarlas y revitalizarlas ambientalmente, utilizando alternativas de bajo costo, poco mantenimiento y principalmente en las cuales puedan ser aprovechadas tecnologías y recursos disponibles localmente, generando además empleos para la población que vive en aquella región. Estas intervenciones tienen como objetivo la total revitalización del cauce fluvial y el aumento de la profundidad del río São Francisco para garantizar la navegación continua de las embarcaciones que transportan toda la producción agrícola producida localmente.

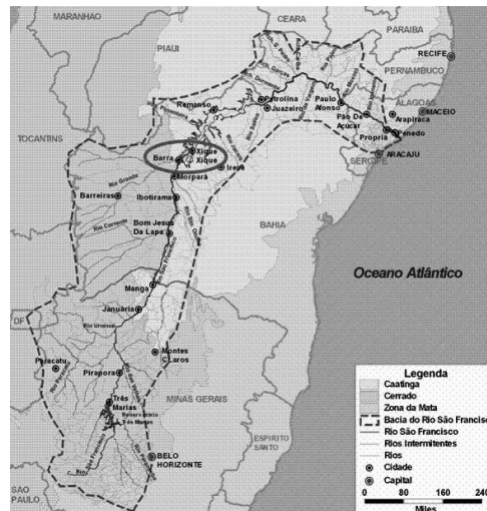


Figure 7. Localización del Campo de Pruebas.

Las propuestas para la protección de estas orillas incluyen la construcción de taludes con baja pendiente (entre 15° y 27°) protegidos por materiales geosintéticos biodegradables o no, aliados a la siembra de vegetación específica para diversos tipos de situación de acuerdo al nivel del agua. Otra finalidad de la Revitalización del río São Francisco es implantar una Cadena Mundial de Transportes, convirtiendo la hidro-vía del río São Francisco en un eje de integración efectivo entre las regiones Sudeste y Nordeste del país, atendiendo a la expansión económica del oeste de la Bahía lo cual fue imposible desde el inicio de la erosión en las orillas.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

El proceso de erosión superficial que afecta constantemente a las orillas del río São Francisco provocando erosiones superficiales y profundas es causado por la ocupación desordenada de la población que vive en aquella región devastando la vegetación local, quedando así el terreno totalmente desprotegido y expuesto al impacto de las gotas de las lluvias y de las olas. El Plan de Revitalización del río São Francisco busca soluciones de bajo impacto ambiental con el objetivo de proporcionar el rápido crecimiento de la vegetación.

Importancia de la vegetación

La vegetación fue utilizada con el objetivo de prevenir y controlar la erosión desde hace siglos y por varias civilizaciones. La cobertura vegetal de los suelos de los taludes contribuye para atenuar su erosionabilidad, manteniendo la humedad y facilitando la infiltración de la agua en el terreno. Propicia diversos efectos tanto del punto de vista geotécnico, ecológico, económico o hasta paisajístico y estético, cada uno con sus particularidades.

Geotécnico

- ? Proteger las orillas contra la erosión causada por el impacto de las gotas de la lluvia, de la corriente o de las ondas;
- ? Aumentar la estabilidad de los taludes por el establecimiento de una matriz suelo-raíz y por modificaciones del nivel de humedad;
- ? Proteger contra la acción del viento y transporte del suelo;
- ? Enriquecer el material orgánico del suelo, aumentando su resistencia al corte;
- ? Reducir la velocidad del flujo del agua superficial.

Ecológico

- ? Aminorar las variaciones extremas de temperatura y humedad del aire cerca de la superficie del suelo;
- ? Optimizar las relaciones hídricas en el sistema suelo-planta-atmósfera;
- ? Reducir de las tasas de evapotranspiración;
- ? Mejorar la calidad de la agua;
- ? Crear refugios para la microfauna e insectos.

Económico

- ? Reducir el costos de ejecución y mantenimiento;

Estético/Paisajístico

- ? Armonizar y mejorar el paisaje.

Geosintéticos para la prevención y control de las erosiones superficiales

Los geosintéticos pueden ser definidos como productos industrializados poliméricos, cuyas propiedades contribuyen para mejoras geotécnicas, en las cuales estos desempeñan principalmente funciones de: refuerzo, filtración, drenaje, protección, separación, control de flujo (impermeabilización) y control superficial (Vidal, 2002).

Su utilización en este campo específico de aplicación experimentó un avance significativo desde la década de 1990, proporcionando una protección adecuada a los suelos aún si las condiciones locales (declividad, características geotécnicas, índice pluviométrico, uso y ocupación del terreno, entre otros) se muestran adversas y potencialmente causantes de procesos erosivos. Básicamente, los geosintéticos deben actuar como retenedor de los finos contenidos en el suelo sobre el cual son apoyados y de los materiales erosionables transportados, reducir las velocidades de escurrimiento y los esfuerzos tangenciales provocados por el flujo de las aguas y absorber la energía del impacto de las gotas de la lluvia. Actualmente, la gama de geosintéticos para la prevención y control de erosiones superficiales es muy vasta y a cada día nuevas soluciones son desarrolladas. Debe ser subrayado que cualquier tipo de solución constituida por materiales sintéticos cuya finalidad sea la prevención y control de la erosión debe ser instalada sobre taludes geotécnicamente estables.

Segundo Koerner (1999) los geosintéticos para prevenir y controlar la erosión son clasificados como temporales (TERM's, Temporary Erosion and vegetation Materials) por ser elementos parcial o totalmente degradables y poseen la característica de prevenir y controlar la erosión del sitio protegido hasta que la cobertura vegetal se haya desarrollado, además de promover la germinación de las semillas para el rápido crecimiento de la vegetación. Teóricamente, los TERM's se subdividen en dos grupos: las ECMN's (Erosion Control Meshes and Nets) constituidos por geogrillas o georedes ambas orientadas biaxialmente y las ECB's (Erosion Control Blankets) constituidos por mantas de fibras vegetales biodegradables.

Un segundo grupo de geosintéticos con la misma función son denominados como permanentes (PERM's, Permanent Erosion and Revegetation Materials) por ser elementos poliméricos no-degradables con buena resistencia a la tracción y que actúan no solamente como refuerzo de las raíces de la vegetación, sino que además auxilian su crecimiento. Los PERM's, a su vez, se subdividen en dos categorías distintas: la primera es formada por geosintéticos asociados a vegetación, los TRM's (Turf Reinforcement Mats) por ser mantas de matriz tridimensional a base de fibras poliméricas, utilizados para reforzar la vegetación ya desarrollada contra la acción de la velocidad del agua y contra los esfuerzos de tracción superiores al máximo suportado por esta, además de ayudarla a crecer. Alineados al concepto anterior están los ECRM's (Erosion Control and Revegetation Mats) por ser mantas con las mismas características del material anteriormente mencionado, a las cuales es adicionado suelo para acelerar el desarrollo de la vegetación. La segunda categoría de los PERM's es formada por materiales biológicamente activos asociados a elementos inertes como madera, gaviones, concreto, rocas o geoceldas. En la tabla 1 se puede apreciar un resumen de esta clasificación.

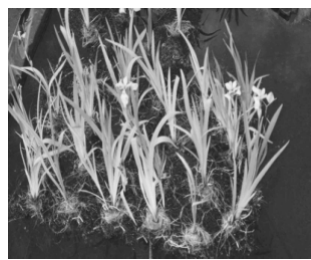
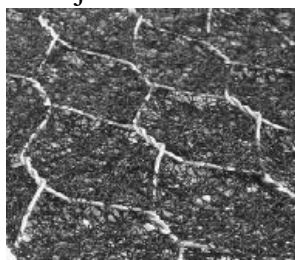
Tabla 1. Geosynthetic erosion control material (after Theisen 1990).

TERM's	PERM's	
	Relacionados biotecnicamente	Relacionados a materiales inertes
Erosion control meshes and nets (ECMNs)	Erosion control revegetation mats (ECRM's)	Geoceldas
Erosion control blankets (ECBs)	Turf reinforcement mats (TRM's)	Concreto
		Madera
		Rocas
		Gaviones

LA PROTECCIÓN GEOCOMPUESTA

Durante el estudio del Plan de Revitalización del río São Francisco fueron propuestas varias soluciones al fin de sanar definitivamente los problemas erosivos en las orillas del río pero no todas pudieron ser instaladas, debido a las condiciones impuestas por el lugar.

La protección geocompuesta tema del presente trabajo (Figura 8) es una geomanta de matriz tridimensional constituida por filamentos gruesos de polipropileno dispuestos aleatoriamente y soldados en todos sus puntos de contacto unidos a una red metálica en malla hexagonal de doble torsión revestida con material plástico, cuya función es inhibir su corrosión en contacto con el agua. Alineada al concepto de TRM, esta geomanta evita el impacto directo de las gotas de lluvia "splash" con la superficie, creando un ambiente propicio al crecimiento de la vegetación. Con la estabilización del terreno revestido y las partículas de suelo (traídas por la agua o viento) confinadas, las raíces de la vegetación al crecer (Figura 9), anclan el material geosintético junto al talud y la malla hexagonal de doble torsión aumenta la resistencia mecánica del suelo contra pequeños desplazamientos. Adicionalmente, la geomanta tiene también la función de reducir la velocidad del agua del río en contacto con la margen y, consecuentemente, los riesgos de erosión de las orillas. Cada componente de esta geomanta posee por lo tanto su función individual y el resultado obtenido por el conjunto es excelente.



Figuras 8 y 9. Detalles de la geomanta aplicada en el río São Francisco.

Por sus dimensiones y por lo que representa para el territorio brasileño, el río São Francisco no ofrece números alarmantes en relación a su caudal. Según las estadísticas del Gobierno del Estado de la Bahia su caudal medio en su desembocadura es de aproximadamente 2700 m³/s y su velocidad media varia entre 2.7 y 3.5 m/s, números que, según la Figura 10, son congruentes para la instalación de la protección geocompuesta tipo TRM que, después de vegetada, soporta velocidades admisibles de hasta 4.50 m/s por breves períodos.

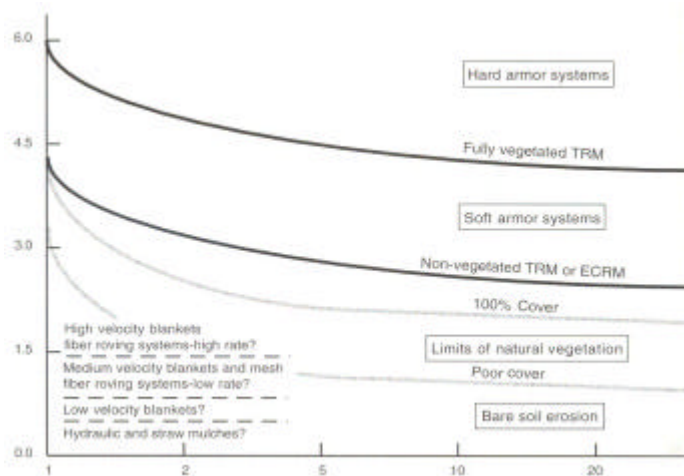


Figura 10. Velocidades admisibles de las geomantas.

Instalación del material geosintético en el Campo de Pruebas

Aún antes del inicio de la ejecución en el Campo de Pruebas fueron tomados varios cuidados con relación al tipo de vegetación que en futuro se desarrollaría y, por esto, un vivero de especies nativas fue instalado estratégicamente en un lugar fácilmente accesible desde las intervenciones de reforestación de las orillas del río São Francisco.

Debido a la erosión en las orillas del río, inicialmente fue ejecutada la regularización de los taludes con equipo mecánico con inclinación de 27°, con la finalidad de obtener una superficie uniforme y sin irregularidades. La segunda etapa consistió en realizar una canaleta alejada 1.00 m del tope del talud con dimensiones de 0.50 m x 0.50 m con la finalidad de anclar la geomanta y realizar el drenaje de las aguas superficiales, impidiendo que el agua de la lluvia se infiltre sub-superficialmente ocasionando erosiones superficiales por debajo de la protección.

Con el auxilio de grapas de acero en forma de “L”, la protección geocompuesta fue anclada en la canaleta previamente abierta y, después de desenrollada (Figura 11), fue colocada a lo largo del talud con grapas de las mismas características respetando la distribución media de 4 (cuatro) grapas por metro cuadrado debido a su inclinación. El anclaje del material al talud se debe a la necesidad de garantizar la adhesión de la manta a la superficie, impidiendo la exportación de los finos debido al flujo superficial. Además, para garantizar que ningún punto quedara al descubierto. Fue realizado un traslape de 0.15 m en todas las enmiendas, longitudinales y transversales, siempre respetando el sentido de escurrimiento de el agua (revestimiento aguas arriba traslapando sobre el revestimiento aguas abajo). Sobre esta, fue realizada una siembra manual de un cóctel de semillas nativas debidamente preparado y adicionado con fertilizantes.

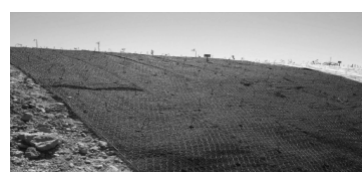
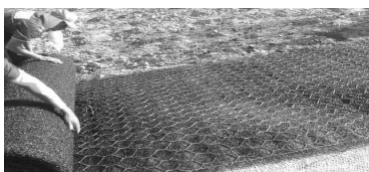


Figura 11. Geomanta durante la instalación en el talud. **Figura 12.** Geomanta instalada en el talud.

Tácticamente, el conjunto de Pruebas inició su ejecución en el período de estiaje del río São Francisco (entre los meses de junio y octubre de 2007), o sea, la protección geocompuesta fue instalada totalmente en seco (Figura 12) y, con el auxilio de irrigadores y el propio contacto del talud revestido con la agua, el resultado fue excepcional y la vegetación se desarrolló en apenas dos meses (Figuras 13 y 14). Además de la vegetación desarrollada naturalmente, las especies extraídas del vivero fueron plantadas a lo largo del revestimiento geocompuesto en los huecos de la malla hexagonal de doble torsión y el resultado también fue muy satisfactorio.



Figuras 13 y 14. Vegetación desarrollada en dos meses.

CONCLUSIONES

La ejecución del trecho inicial del Campo de Pruebas del Plan de Revitalización del río São Francisco fue un éxito. Fue posible observar diversas metodologías empleadas en las orillas de este importante río brasileño. La protección geocompuesta, entre todas ellas, fue la que ofreció los mejores resultados en el trecho evaluado. Este es el primero de diversos estudios que serán realizados en los ríos brasileños que sufren de degradación ambiental en sus orillas y que necesitan de soluciones de bajo costo, gran productividad y que generen, además, empleos a la población local de escasos recursos.

AGRADECIMENTOS

Los autores expresan sus sinceros agradecimientos a Maccaferri do Brasil, la Srta, Karen Henriques Giamboni, Sra. Sandra Spadaccia Chiari, Natalino Chiari y a los Ing. Petrucio José de los Santos Junior y Jaime de la Silva Duran, sin cuya ayuda no habría sido posible la ejecución de este trabajo.

REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS

- Brighetti, G., Martins, J.R.S., & Bernardino, J.C.M.** (2002). Revestimentos de canais e cursos Maccaferri, Jundiaí, Brasil.
- Guerra, A.T & Guerra, A.J.T.** (1997). Novo dicionário geológico-geomorfológico. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, Brasil.
- Guerra, A.J.T., Silva, A.S & Botelho, R.G.M.** (1999). Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações). Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, Brasil.
- Koerner, R.M.** (1998). Designing with geosynthetics, 4th edition. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Pereira, A.R.** (2006). Determinação da perda de solo. Deflor Bioengenharia, Belo Horizonte, Brasil.
- Theisen, M.S. & Carroll, R.G., Jr.** (1990). Turf reinforcement – The soft armor alternative, Proc. 21st Conf. Prof. Instl. Erosion Control Assoc., Steamboat Springs, CO, 255-270.
- Thornes, J.B.** (1980). Erosional process of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical view point. In: Soil erosion. M.J. Kirkby and R.P.C Morgan (Eds.), 129-182.
- Vertematti, J.C.** (2004). Manual brasileiro de geossintéticos. Edgard Blucher, Brazil.
- Vidal, D.M.** (2002). Aplicação em pavimentos. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, Brazil.
- Wischmeier, W.H. & Mannering, J.V.** (1969). Relation of soil properties to its erodibility. Proceedings of Soil Science Society of America, 33, 133-137.